

Klimatológiai vonatkozású városi ökoszisztéma szolgáltatások értékelése Szeged példáján

Kiss Márton, Takács Ágnes, Pogácsás Réka, Berkes Lilla
és Gulyás Ágnes

*Szegedi Tudományegyetem, Éghajlattani és Tájjöldrajzi Tanszék,
6722 Szeged, Egyetem utca 2.*

e-mail: Kiss.Marton@geo.u-szeged.hu

Összefoglaló: A települési ökoszisztémák nagy népsűrűségű területeken sok ember jólétéhez járulnak közvetlenül hozzá, ezért az általuk biztosított szolgáltatások értékelése és az ehhez szükséges módszerek kidolgozása elengedhetetlen feladat. A városi zöldfelületek fontos szabályozó szolgáltatásai az antropogén hatásra módosult települési klimatikus viszonyokhoz kapcsolódnak (pl. széndioxid-megkötés, szennyezőanyag-megkötés), munkánkban ezek értékelését és annak eredményeit mutatjuk be Szeged példáján. Az értékelést egyed alapon végeztük az amerikai fejlesztésű i-Tree Eco modell adaptálásával, a város fakataszter-adatbázisának felhasználásával. Eredményeink arra mutatnak rá, hogy a faállapot jelentősen befolyásolhatja a szolgáltatások mennyiségét, ezért a városi fafajválasztásban, különösen az utcai fasorok esetében fontos szerepet kell kapnia az ilyen értékelésekből vagy más módon megállapított várostűrőnek.

Kulcsszavak: városi ökoszisztéma szolgáltatások, szénmegkötés, szennyezőanyag-megkötés, faállapot, Szeged

Bevezetés

A települési ökoszisztémák mesterségesen létrehozott, vagy az emberi tevékenység által erősen befolyásolt rendszerek, de mivel nagy népsűrűségű, jelentős környezeti terheléssel jellemezhető területeken találhatók, az általuk biztosított szolgáltatások értékelése fontos feladatnak tekinthető. A kezdeti áttekintő jellegű vizsgálatok után (Bolund & Hunhammar 1999) egyre több tanulmány jelent meg a városi ökoszisztéma szolgáltatások térképezéséhez szükséges biofizikai indikátorok fejlesztésével (Dobbs *et al.* 2011), a szolgáltatások pénzületi (Soares *et al.* 2011) és nem pénzületi, társadalomtudományi értékelésével kapcsolatosan (Baur *et al.* 2014). A hazai városokra vonatkozóan kevés ezzel kapcsolatos ismeretünk van, így munkánk elsődleges célja egy megalapozó vizsgálat volt a fás vegetáció településökológiai szerepével kapcsolatban két, viszonylag egyszerűen kvantifikálható szolgáltatás példáján. Az egyed alapú értékelés egyszerűen kivitelezhetővé teszi a vizsgált szolgáltatások későbbi monetáris értékelését és a településrendezési eljárásokba való beépítését. A különböző típusú és helyzetű faál-

lományok által biztosított szolgáltatások mennyiségének ismerete ezeken felül a GIS alapú értékelési módszerek fejlesztésében, validálásában is szerepet kaphat, ami nemzetközi természetvédelmi szakpolitikai célok megvalósítását szolgálhatja (az ökoszisztéma szolgáltatások térképezése és a zöld infrastruktúrára alapuló fejlesztés az EU 2020-ig szóló Biodiverzitás Stratégiájának fontos célkitűzései – Európai Bizottság 2011).

A települési faállományok ökoszisztéma szolgáltatásainak jelentős része az antropogén hatásra erősen módosult települési klimatikus viszonyokkal kapcsolatos (hőstressz-csökkentés, szénmegkötés, szennyezőanyag-megkötés – Hunter Block *et al.* 2012). Ezek értékelését megkönnyíti, hogy az azokat jellemző indikátorok (pl. levélfelületi index, teljes biomassza) jól kvantifikálhatók az erdészet által már leírt allometria és növekedési egyenletek révén. Ezt felhasználva, több célzott modell is készült a fenti szolgáltatások számítására és monetáris értékének kifejezésére (Peng *et al.* 2008, i-Tree 2014). Ezeket világszerte széles körben alkalmazzák, és több helyen az intézményes zöldfelület-menedzsment eszközei között vannak. Ugyanakkor még nem ismerünk példákat kelet-közép-európai vizsgálatokra, faállományoknak városi éghajlati viszonyok között, az itt alkalmazott fajkészlet melletti értékelésre. Munkánk szűkebb célja a fentiek alapján két fontos klimatológiai vonatkozású települési ökoszisztéma szolgáltatás (szénmegkötés, szennyezőanyag-megkötés) értékelése egy nagy egyedszámú városi faadattáris felhasználásával. A szolgáltatások általános jellemzésén kívül vizsgáltuk a faállapotbeli különbségek megjelenését a szolgáltatások, illetve azok indikátorainak mennyiségében.

Módszerek

Adatok

A vizsgálat mintaterülete Szeged belvárosa, ahol a közterületek faállományának túlnyomó részét kitevő, közel 2846 egyedből álló, 2012 és 2013 vegetációs időszakában készült fakataszteri adatbázis szolgált az elemzések alapjául. A felvételezéskor az értékeléshez használt i-Tree modell terepi protokollját követtük (i-Tree 2014). Ez alapján minden, 5cm-t meghaladó törzsméretű fánál mértük az alábbi paramétereket: famagasság, törzsmagasság, koronaátmérő, törzsméret (mellmagassági átmérő), koronahiány (%), elszáradt rész aránya (%), fénynek való kitettség (hány irányból kap fényt az adott egyed).

Az adatok bevitelének és tárolásának elsődleges eszköze a zöldfelület-nyilvántartás céljára Magyarországon fejlesztett Greenformatic szoftver volt (Gulyás *et al.* 2015), a szükséges adatkört innen exportáltuk MS Access formátumba, ami az alkalmazott modellbe való beemeléshez szükséges.

Az i-Tree Eco modell

Az i-Tree szoftvercsalád világszerte használt eszköz a klimatológiai vonatkozású ökoszisztéma szolgáltatások számítására. A UFORE (Urban Forest Effects) modell utódjaként napjainkban már több szoftveres alkalmazás is elérhető (i-Tree Eco, Streets, Hydro, Design), amelyek közül nemzetközi (USA-n kívüli) használatra az Eco a legalkalmasabb, ehhez a modell adaptálása szükséges. A meteorológiai adatsorok a szegedi meteorológiai állomásról származnak. A szennyezőanyagok közül a CO, O₃, NO₂, PM₁₀ és SO₂ ülepedését számítottuk, ezek szegedi koncentráció-adatsorait az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat adatbázisából töltöttük le. A modellfuttatás éve 2012 volt (ekkorra álltak rendelkezésre a legteljesebb adatsorok).

Eredmények

A vizsgált faállomány szerkezeti jellemzői

A teljes vizsgált belvárosi faállományt nagy faji változatosság jellemzi, összesen pontosan 100 faj található meg ezen a néhány km²-nyi területen. Ezeknek mintegy fele őshonos Magyarországon. A leggyakoribb 10 faj az össz-egyedszámnak kb. 70%-át teszi ki (1992 db, 1. táblázat). A teljes belvárosi faállománnyal kapcsolatos elemzéseink többsége ezen fajok jellemzését, összehasonlítását célozza.

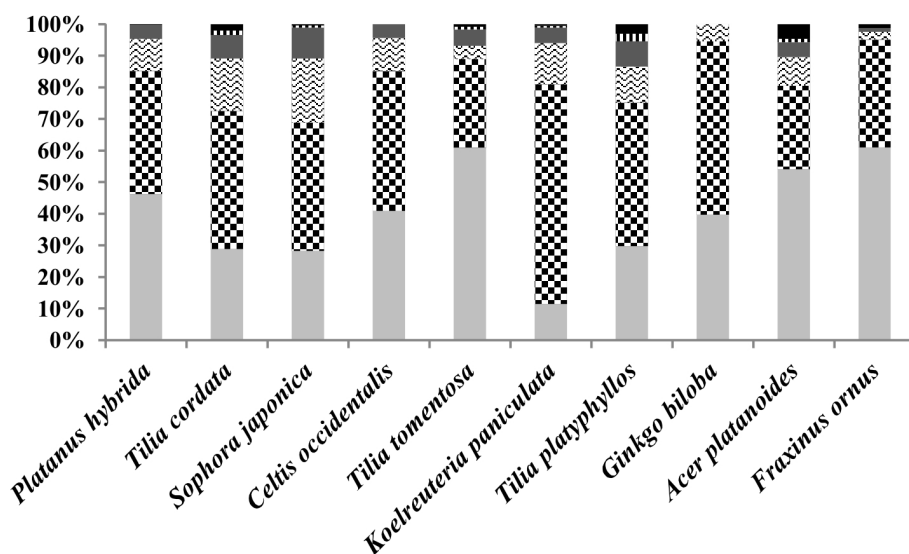
A három leggyakoribb faj a platán (*Platanus hybrida*), a kislevelű hárs (*Tilia cordata*) és a japánakác (*Sophora japonica*). A fajok többségénél van egy domi-

1. táblázat. A 10 leggyakoribb faj főbb jellemzői a vizsgált szegedi faállományban.

	Egyedszám (db)	Részesedés a teljes egyed- számból (%)	Levélfelület (m ²)	Részesedés a teljes levél- felületből (%)	Átlagos törzsmérő (cm)
<i>Platanus hybrida</i>	305	10,7	229455,5	37,7	63,0
<i>Tilia cordata</i>	295	10,4	36249,4	5,9	28,4
<i>Sophora japonica</i>	276	9,7	55252,7	9,1	47,5
<i>Celtis occidentalis</i>	252	8,9	61215,2	10,1	36,2
<i>Tilia tomentosa</i>	235	8,3	19355,9	3,2	18,0
<i>Koelreuteria pan. paniculata</i>	184	6,5	21567,1	3,5	29,4
<i>Tilia platyphyllos</i>	165	5,8	27978,8	4,6	28,2
<i>Ginkgo biloba</i>	111	3,9	14737,5	2,4	33,2
<i>Acer platanoides</i>	87	3,1	13547,9	2,2	20,3
<i>Fraxinus ornus</i>	82	2,9	9807,0	1,6	22,1

náns mérettartomány (ami az átlagos törzsátmérőben jelenik meg), ez arra utal, hogy az utóbbi évtizedekben más-más fajokat preferáltak a fasorok telepítésekor.

A klimatológiai vonatkozású ökoszisztéma szolgáltatásoknak egyik legfontosabb állapot-indikátora a levélfelület, ezért szükséges annak vizsgálata, hogy az egyes fajok a levélfelület szempontjából milyen súlyúak a teljes populáción belül. Az egyes fajoknak az egyedszámukhoz képesti nagyobb vagy kisebb súlya elsősorban a méreteloszlás következménye. Például a platán a város legidősebb, így legnagyobb méretű fákból álló fasorainak fő faja, ez okozza a rendkívül nagy részarányát az össz-levélfelületen belül. Míg például az ezüst hársak (*Tilia tomentosa*) többsége egy új telepítésű, fiatal, homogén belvárosi fasort alkot (1. ábra), ezért több százas egyedszámban van jelen, de viszonylag kis levélfelülettel.



1. ábra. A 10 leggyakoribb faj egyedeinek faállapot szerinti megoszlása.

■ Kiváló, ▨ Jó, ▩ Megfelelő, ■ Rossz, ■ Kritikus, ■ Haldoklik

A levélfelületet befolyásoló másik fontos tényező lehet a különböző fajok állományainak eltérő egészségi állapota (1. ábra). A teljes vizsgált állományra elmondható, hogy viszonylag jó állapotban van, az egyedek többsége a kiváló vagy jó kategóriák valamelyikébe sorolódott. Ez részben a modell működésének következménye: az egészségi állapot kategóriákba való besorolás a fakorona elszáradt részének aránya (%) alapján történik, és annak 10%-ot meghaladó értéke esetén kerül a jónál rosszabb kategóriákba valamelyikébe az adott egyed (Nowak *et al.* 2008). A gondos kezelésnek köszönhetően ilyen fák viszonylag kis számban vannak jelen, mivel a jelentősen romlott állapotú egyedeket metszéssel kezelik (ami

a koronahiány adatában jelenik meg) vagy rövid időn belül cserélésre kerülnek. Emellett azonban megfigyelhetők bizonyos különbségek is az egyes fajok között a faállapotot illetően, ami az általuk biztosított szolgáltatások mennyiségét is befolyásolja. Például két őshonos hárs faj esetében (kislevelű hárs, nagylevelű hárs – *Tilia platyphyllos*) az egyedeknek jelentős (27,4% és 24,8%) része sorolható a jónál gyengébb egészségi állapot kategóriák valamelyikébe, ugyanez elmondható a bugás csörgőfa (*Koelreuteria paniculata*) és a japánakác egyedeiről is (19% és 31,2%). Az ezüsthárs egyedeinek jó állapota az új telepítésű fasor fiatal egyedeinek viszonylag teljes lombkoronájára utal. A korai juhar (*Acer platanoides*) különböző helyzetű állományokban (kis utcák, körút, parkok) is megtalálható, és ezekben általánosan jó állapotban van.

Szénmegkötés és -tárolás

A szénmegkötés és -tárolás fajok közötti különbségei alapvetően a méretbeli különbségeket követik (2. táblázat). Kimagaslóan a legnagyobb egyedenkénti éves megkötéssel a platánok jellemezhetők, a legnagyobb egyedeknél ez 60 kg/év megkötött mennyiségnél is nagyobb lehet. A 305 egyedből álló platán állományban 428,9 t szén tárolódik, ez a teljes vizsgált városi faállomány által tárolt szénmennyiségnek (1169 t) több mint 1/3-a.

2. táblázat. A 10 leggyakoribb faj összehasonlítása a két vizsgált ökoszisztéma szolgáltatás szempontjából.

	Egyedenkénti C-megkötés (kg/év)	Tárolt szén (kg)	Szennyező-megkötés (kg/év)
<i>Platanus hybrida</i>	35,9	428904,7	1059,1
<i>Tilia cordata</i>	7,5	50013,3	238,3
<i>Sophora japonica</i>	23,5	197693,5	556,8
<i>Celtis occidentalis</i>	15,8	102569,7	379,7
<i>Tilia tomentosa</i>	4,4	17631,3	118,3
<i>Koelreuteria pan.</i>	11,9	37531,0	252,9
<i>Tilia platyphyllos</i>	7,3	24468,3	285,3
<i>Ginkgo biloba</i>	14,4	37444,1	197,3
<i>Acer platanoides</i>	6,8	11790,4	243,9
<i>Fraxinus ornus</i>	6,8	8737,8	233,4

A széntárolás alapján a fajok egymáshoz viszonyított sorrendje értelemszerűen nagyrészt megegyezik a levélfelület alapján felállítható sorrenddel (a teljes biomasszával kapcsolatban álló két indikátorról van szó). Ugyanakkor néhány esetben megfigyelhetők kisebb eltérések, amik az adott faj állapotára utalnak. Például a

japánakác populáció jól láthatóan viszonylag kis levélfelülettel (9,1%-os részesedés a teljes faállomány levélfelületéből) rendelkezik a széntárolási kapacitásához (16,9%) képest. Ez a jelentős koronahiánynak (az elszáradt ágak, koronarészek nagy arányú eltávolításának) a következménye, ami az idős egyedek vastag – és ezáltal nagy széntárolási kapacitású – törzsét nem érinti. Bizonyos, egyébként rosszabb állapotban levő fajok jó levélfelület/tárolt szén aránya a viszonylag teljes lombkoronára utal, ugyanakkor ezen belül jelentős lehet a száradt levélfelület aránya, ami szintén rossz várostűrést jelenthet. Például a nagylevelű hárs (levélfelületből való részesedés: 4,6%, tárolt szénmennyiségből való részesedés: 2,1%) esetében az elhalt levélzet részarányának átlagos értéke 12,6%, szemben a teljes állományt jellemző 8,4%-os átlaggal.

Szennyezőanyag-megkötés

A szennyezőanyag-megkötés fajok közötti különbségei, illetve az átlagos mellmagassági átmérőhöz való viszonya megegyezik az előzőekben tárgyalt levélfelület-tárolt szén kapcsolatokkal, mivel a levélfelület az ökoszisztéma indikátor a szolgáltatás számításánál. Az egyedenkénti megkötés az összes szennyezőt együttesen számolva a legtöbb faj esetében 200-400 g között mozog évente, ezt csak a két legjelentősebb megkötő, a japánakác és a platán haladja meg. A méretük miatti kivételek a platán és a japánakác, valamint a kis méretű egyedekből álló ezüsthárs.

Az egyes szennyezők megkötését külön vizsgálva elmondható, hogy a város légszennyezettségében a legfontosabb szennyezők megkötése képviseli a legnagyobb tömeget (3. táblázat).

3. táblázat. A teljes vizsgált faállomány által megkötött szennyezőanyagok összömege.

	CO	O ₃	NO ₂	PM10	SO ₂
Megkötött szennyező (kg/év)	18598	596352	72672	406469	34152

Szeged esetében jelentős ipari kibocsátás nincs, a legjelentősebb megkötés a közlekedési eredetű ózon (összesen kb. 600000 g/év) és ülepedő por (kb. 400000 g/év) esetében tapasztalható.

Értékelés

Az eredményeink az első kelet-közép-európai i-Tree elemzésből származnak, de a szegedi városi faállomány szerkezeti adottságai főbb vonalaiban megegyeznek a hasonló helyzetű és méretű városok jellemzőivel. Az idegenhonos fajoknak 50%-hoz közeli vagy azt meghaladó részaránya más európai városokban is jellemző (Chaparro & Terradas 2009, Rogers *et al.* 2011). Az egyes fajoknak a teljes levélfelületből való részesedéséből következtethetünk az adott állományok aktuális állapotára. A szegedi minta esetében két hazai hársfaj rosszabb helyzetét tudtuk megállapítani, ami gyengébb várostűrűsükre utal (az antropogén hatásra erősen módosult mikroklimatikus és talajtani háttérfeltételek miatt), erre vonatkozóan már történtek hasonló megfigyelések Magyarországon (Vajna 2010). A korai juhar jó általános állapota is megjelenik más vizsgálatokban. Pothier & Millward (2013) Toronto-i tanulmányában a legjobb szén- és szennyezőanyag-megkötőnek bizonyult (a jó faállapotnak is köszönhetően), ez az őshonosságtól függetlenül városi fásításra való alkalmasságára utal.

A vizsgált szolgáltatások közül a szénmegkötésre kapott eredmények hasonlíthatók jobban más területekre kapott eredményekhez, mivel a szennyezőanyag-megkötés a részletes felbontású időjárási adatokon kívül a városonként szintén erősen változó szennyezőanyag-koncentrációktól is függ. A teljes városi erdő átlagában Szegedre kapott egyedenkénti 410,78 kg-os átlagos széntárolás, valamint a 14,01 kg/év-es átlagos éves egyedenkénti szénmegkötés a más európai városokra végzett elemzések közül közel van Wälchli (2012) Zürichben (Svájc) i-Tree Eco alkalmazásával kapott eredményeihez (348,88 kg és 12,97 kg/év), valamint Russo *et al.* (2014) Bolzano-ra (Olaszország) allometrikus egyenletek alkalmazásával kapott eredményeihez (377,14 kg/év és 12,06 kg/év). Magyarországon az önkormányzatoknak a vagyongazdálkodás részeként törvényi kötelezettségük a zöldvagyonról is nyilvántartást vezetniük. Ennek ellátásához létezik több kidolgozott és a szakigazgatásban használt értékelő rendszer a különböző méretű, állapotú és városon belüli helyzetű fák értékének megállapítására (Hegedüs *et al.* 2011). Az általunk bemutatott modell a fentiekkel való összehasonlító vizsgálatok után lehetőséget adhat azok pontosítására, segítve ezzel a városi zöldfelületek ökoszisztéma szolgáltatásainak a döntéshozatali folyamatokba való hatékonyabb beépítését.

Köszönetnyilvánítás – A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- Baur, J. W. R., Tynon, J. F., Ries, P. & Rosenberger, R. S. (2014): Urban Parks and Attributes about Ecosystem Services: Does Park Use Matter? – *J. Park Recreat. Adm.* **32**: 19–34.
- Bolund, P. & Hunhammar, S. (1999): Ecosystem services in urban areas. – *Ecol. Econ.* **29**: 293–301.
- Chaparro, L. & Terradas, J. (2009): *Ecological Services of Urban Forest in Barcelona*. – Barcelona City Council, Barcelona, Spain: Department of Environment, 96 pp.
- Dobbs, C., Escobedo, F. J. & Zipperer, W. C. (2011): A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. – *Landscape. Urban. Plan.* **99**: 196–206.
- Európai Bizottság (2011): Élelbiztosításunk, természeti tőkénk: a biológiai sokféleséggel kapcsolatos, 2020-ig teljesítendő uniós stratégia. – COM(2011) 244, Brüsszel, 19 pp.
- Gulyás, Á., Kiss, M., Takács, Á., Varga, L. & Makrai, L. (2015): Szeged közterületi faállományának vizsgálata. – In: Rakonczai, J., Blanka, V. & Ladányi Zs. (szerk): *Tovább egy zöldebb úton*. SZTE TTIK Földrajzi és Földtani Tanszékcsoport, Szeged, pp. 67–79.
- Hegedűs, A., Gaál, M. & Bérces, R. (2011): Tree appraisal methods and their application – first results in one of Budapest's districts. – *Appl. Ecol. Environ. Res.* **9**: 411–423.
- Hunter Block, A., Livesley, S. J. & Williams, N. S. G. (2012): *Responding to the urban heat island: A review of the potential of the green infrastructure*. – Victorian Centre for Climate Change Adaptation Research, Melbourne, 56 pp.
- i-Tree (2014): *i-Tree Eco User Manual v5.0*. – USDA Forest Service, 114 pp.
- Nowak, D. J., Crane, D. E., Stevens, J. C., Hoehn, R. E., Walton, J. T. & Bond, J. (2008): A Ground-Based Method of Assessing Urban Forest Structure and Ecosystem Services. – *Arboric. Urb. For.* **34**: 347–358.
- Peng, L., Chen, S., Liu, X. & Wang, J. (2008): Application of CITYgreen model in benefit assessment of Nanjing urban green space in carbon fixation and runoff reduction. – *Front. For. China* **3**: 177–182.
- Pothier, A. J. & Millward, A. A. (2013): Valuing trees on city-centre institutional land: an opportunity for urban forest management. – *J. Environ. Plann. Man.* **56**: 1380–1402.
- Rogers, K., Jarratt, T. & Hansford, D. (2011): *Torbay's Urban Forest – Assessing Urban Forest Effects and Values*. – Treeconomics, Exeter, 43 pp.
- Russo, A., Escobedo, F. J., Timilsina, N., Schmitt, A. O., Varela, S. & Zerbe, S. (2014): Assessing urban tree carbon storage and sequestration in Bolzano, Italy. – *Int. J. Biodivers. Sci. Ecosyst. Serv. Manag.* **10**: 54–70.
- Soares, A. L., Rego, F. C., Mcpherson, E. G., Simpson, J. R., Peper, P. J. & Xiao, Q. (2011): Benefits and costs of street trees in Lisbon, Portugal. – *Urban. For. Urban. Gree.* **10**: 69–78.
- Vajna, L. (2010): Fiatal díszfák és cserjék pusztulása városi környezetben. – *Növényvédelem* **46**: 431–436.
- Wälchli, G. (2012): Ökosystemdienstleistungen als ökonomische Strategie? *i-Tree: ein Instrument für die Wertermittlung von Stadtbäumen Zusammenfassung*. – Wädenswil: Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, 123 pp.

Evaluation of climate-related ecosystem services of urban trees in Szeged (Hungary)

Márton Kiss, Ágnes Takács, Réka Pogácsás, Lilla Berkes
and Ágnes Gulyás

*Department of Climatology and Landscape Ecology, University of Szeged,
H-6722 Szeged, Egyetem út 2, Hungary
e-mail: Kiss.Marton@geo.u-szeged.hu*

Urban ecosystems are artificially created and maintained, but, as they are situated in densely populated settlements, they contribute to many people's well-being directly. This highlights the need for the evaluation of these services and to elaborate suitable methodologies for that. Some very important regulating services of urban green spaces (e.g. carbon sequestration, air pollution removal) are connected to the anthropogenically modified climatic characteristics of the cities. In this study, we show an example for the valuation of these services in the city of Szeged (Hungary). The calculations were made on a per tree base, by the adaptation of a targeted model developed in the U.S. (i-Tree Eco), using the tree cadastre database of the city. Our results highlight the importance of tree condition in service provision, which should be considered during species selection in urban circumstances.

Keywords: urban ecosystem services, carbon sequestration, air pollution removal, tree condition, Szeged